

Анализируя полученные результаты по армированию составов ВИАТРОН микроволокнами, можно предположить, что улучшение свойств обусловлено:

- наличием химически активных компонентов, что способствует формированию в микроструктуре бетона дополнительных кристаллических малорастворимых новообразований, а благодаря анизотропному синтезу таких кристаллов в структуре ВИАТРОНА за счет микроволокон, создается дополнительный микрокаркас;

- присутствие фибры в составе ВИАТРОН уменьшает перемещение воды, а следовательно, и сегрегацию частиц цемента и песка, что способствует наиболее полной и эффективной гидратации цементного камня, что в целом дает возможность повысить его физико-механические характеристики: истираемость, водопоглощение, морозостойкость и т.д.;

- при кратковременном нагревании бетонных образцов, содержащих полимерную фибру до  $600^{\circ}\text{C}$ , происходит расплавление фибры и модификационные изменения цементного камня и кварца не приводят к структурным изменениям бетона, поскольку возникающие напряжения «гасятся» в пластичной массе расплавленного полипропилена.

1.Бабушкин В.И., Костюк Т.А., Кондращенко Е.В., Прошин О.Ю. Безусадочные сухие строительные смеси широкого спектра действия / Всероссийская научно-практическая конференция // Строительное материаловедение – теория и практика: Сб. тр. – М.: СИП РИА, 2006. – С. 106-108.

2.Материалы армированные стекловолокном: Сб. науч. трудов. – М.: Стройиздат, 1982. – С.61-78, 100-120.

3.ДСТУ Б В.2.7-43-96 Б М. Бетони важкі. ТУ.

4.ДСТУ Б В.2.7-114-2002 Б М. Суміші бетонні. Методи випробувань.

*Получено 19.03.2007*

УДК 539.3

А.А.ЧУПРЫНИН, канд. техн. наук, Р.АББАСИ

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

В настоящее время в строительстве широко используются элементы, расчетная схема которых соответствует тонкостенным пространственным конструкциям. Тонкостенные пространственные покрытия в отличие от плоскостных систем работают под нагрузкой в обоих направлениях. Вследствие благоприятных условий статической работы такие конструкции требуют наименьшего расхода материалов, в них отношение собственной массы к полезной нагрузке минимально. Тонкостенными пространственными железобетонными конструкциями можно перекрывать без промежуточных опор большие площади до 1 га и более.

Широкое использование современных материалов обуславливает разработку новых методов расчетов, которые учитывают неоднородность материала и нелинейность его свойств. Учет нелинейных факторов позволяет более адекватно смоделировать процессы деформирования конструкций. Кроме того, условия эксплуатации строительных конструкций в современных условиях характеризуются высокими внешними воздействиями, что часто приводит к тому, что материал начинает работать за пределами упругости. Вместе с тем, обеспечение высокой надежности и долговечности элементов конструкций, при одновременном уменьшении времени проектирования и сокращении расходов, требует создания современных методов моделирования и расчетов.

Нелинейные задачи деформирования неоднородных конструкций принадлежат к числу наиболее сложных в современной механике.

В настоящей работе представлены численные алгоритмы реализации метода конечных элементов (МКЭ), который в настоящее время является базовым методом численного моделирования напряженно-деформированного состояния. При этом использование современной компьютерной техники позволяет находить оптимальные конструктивные решения.

Оболочки двоякой кривизны – весьма рациональные конструкции. Для покрытия прямоугольных в плане помещений наиболее простыми, с точки зрения расчета и изготовления, являются оболочки, срединная поверхность которых очерчена по поверхности переноса, сферической или эллиптической. В настоящее время достаточно хорошо исследовано деформирование тонкостенных конструкций, и получены аналитические и численные решения для некоторых элементов конструкций, однако эти методы оказываются неприемлемыми при рассмотрении сложных элементов строительных конструкций.

Общая схема МКЭ рассмотрена в работе [1]. Далее используем принятые в них основные обозначения и допущения и известные соотношения для изгиба оболочек, уточнив геометрические зависимости за счет нелинейных составляющих деформаций нейтральной поверхности оболочки [2].

Рассмотрим деформированное состояние оболочки, предполагая, что прогибы точек ее срединной поверхности могут быть одного порядка с ее толщиной. Используя принятое допущение о нерастяжимости и несжимаемости материала оболочки в направлении толщины, запишем геометрические зависимости для случая неосесимметричного напряженно-деформированного состояния оболочек вращения. Так как рассматривается тонкая оболочка, то можно принять, что углы поворо-

та, связанные с прогибом, значительно превышают значения производных, относящихся к деформациям в массиве материала.

Не конкретизируя уравнений состояния материала оболочки, запишем связь компонент тензоров деформаций  $\underline{\underline{T}}_e$  и напряжений  $\underline{\underline{T}}_s$  в обратной форме, которая, учитывая соотношения между деформациями и напряжениями в оболочке примет вид:

$$\sigma_{ij} = \bar{b}_{ijkl} \cdot (\varepsilon_{kl}^m - \varepsilon^V) + z \cdot \bar{d}_{ijkl} \cdot (\chi_{kl} - \chi_{kl}^-). \quad (1)$$

Деформации, согласно общей схеме МКЭ, определяются следующим образом:

$$[\varepsilon] = [B][U], \quad (2)$$

где  $[\varepsilon]$  – вектор деформаций;  $[B]$  – матрица деформаций элемента;  $[U]$  – вектор перемещений, компонентами которого являются перемещения и углы поворота в узлах элемента.

Полученные в матричной форме геометрические зависимости позволяют записать физические соотношения в виде:

$$[\sigma] = [D][\varepsilon] - [\sigma_V] - [\sigma_N]$$

или с учетом (2)

$$[\sigma] = [D][B][U] - [\sigma_V] - [\sigma_N], \quad (3)$$

где  $[\sigma]$  – вектор напряжений;  $[D]$  – матрица напряжений элемента;  $[\sigma_V]$ ,  $[\sigma_N]$  – компоненты напряжений, вызванные объемными (температурными) деформациями, нелинейными составляющими упругих деформаций соответственно.

Далее, следуя схеме МКЭ, можно записать разрешающее уравнение:

$$[F] = [K][U] - [F]_T - [F]_N - [F]_0, \quad (4)$$

где  $[F]$  – вектор узловых сил;  $[F]_T$ ,  $[F]_N$ ,  $[F]_0$  – дополнительные силы в узлах, обусловленные соответствующими составляющими напряжений;  $[K]$  – матрица жесткости элемента, которая определяется соотношением:

$$[K] = \oint_V [B]^T [D][B] dv.$$

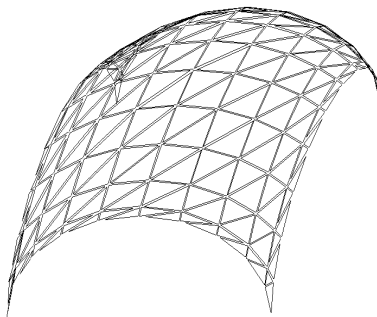
В рассмотренной постановке основные особенности исходной и приобретаемой при деформировании неоднородности и нелинейности свойств материала конструкции включены в вектор нагрузок и учитываются слагаемыми  $[F]_T$ ,  $[F]_N$ . Вместе с тем неоднородность упругих

свойств внутри элемента сохраняется и должна быть учтена при вычислении матриц жесткости каждого элемента.

Система уравнений (4) является нелинейной, так как матрица жесткости сохраняет нелинейные составляющие деформаций. Для линеаризации используется метод последовательных приближений, в котором при каждой следующей итерации происходит уточнение нелинейных слагаемых. Таким образом, можно сделать вывод, что существенным отличием описанного в работе метода моделирования напряженно-деформированного состояния неоднородных тонкостенных конструкций, от известных публикаций по данной теме является малоисследованная область применения МКЭ для неоднородных конструкций с учетом их нелинейного деформирования. При этом неоднородность может быть как начальная (многослойные элементы, неоднородные материалы), так и приобретенная (неравномерный нагрев, пластичность, ползучесть).

В качестве примера рассмотрено напряженное состояние эллиптического купола, который является открытой оболочкой, деформирующегося под действием собственного веса. Конструкция толщиной  $h=20$  см, квадратная в плане (со стороной  $\ell=10$  м), выполнена из бетона. В расчетах варьировалась высота подъема  $f$  в пределах  $f=(1\ldots 10)$  м.

На рисунке приведено конечно-элементное разбиение оболочки. В расчетах использовался треугольный трехузловой элемент с шестью степенями свободы в узле. Установлено, что наименьшая интенсивность напряжений будет в куполе, высота которого равняется 1,23 м.



Конечноэлементное разбиение

Анализ приведенных результатов позволяет сделать вывод, что тонкостенное покрытие рационально конструировать в виде выпуклой пологой оболочки, в которых стрела подъема значительно меньше размеров пролета. Ввиду пологости оболочки разница в статической работе и геометрическом построении разных поверхностей несущественна, в них изгибающие моменты появляются лишь в той части оболочки, которая контактирует с опорами. Большая же часть площади оболочки обычно подвергается лишь действию продольных сжимаю-

щих усилий. В углах оболочки сдвигающие силы достигают наибольших значений, что вызывает появление в этих местах значительных главных растягивающих напряжений. Для восприятия этих напряжений угловые зоны оболочек больших пролетов целесообразно армировать диагональной напрягаемой арматурой.

1. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов / Под ред. В.И. Мяченкова. – М.: Машиностроение, 2002. – 520 с.

2. Постнов В.А., Слезина И.Т. Учет физической и геометрической нелинейности в задачах изгиба оболочек вращения при использовании метода конечных элементов // Изв. АН СССР, МТТ. – 2004. – №6. – С.78-85.

*Получено 09.04.2007*

УДК 624.012.41

М.С.ЗОЛОТОВ, профессор, И.В.СИМЕЙКО

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРОЧНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Рассматривается работа центрально сжатых стержней, анализируется характер их деформирования. Приводятся конструктивные особенности центрально сжатых железобетонных колонн, рекомендации по их проектированию и основные методы их расчета.

В строительной практике действию сжимающей силы подвергаются многие железобетонные конструкции и их элементы. В зависимости от места приложения продольного усилия сжатие бывает центральным, внецентренным и косым внецентренным. К центрально сжатым элементам условно относят промежуточные колонны в зданиях и сооружениях, верхние пояса ферм, загруженных по узлам, восходящие раскосы и стойки решетки ферм. В действительности, центральное сжатие в железобетонных стержнях, по причине неоднородности бетона, несовершенства геометрических форм элементов, отклонений в расположении арматуры, условий изготовления элементов и других факторов, в чистом виде не наблюдается, а происходит внецентренное сжатие с так называемым случайным эксцентриситетом.

Прочность коротких центрально-сжатых элементов от воздействия внешнего усилия складывается из прочности бетона и прочности продольных стержней арматуры, принимающих на себя часть указанной нагрузки [1, 2]. Роль хомутов сводится главным образом к предотвращению преждевременного выпучивания продольных стержней; без хомутов продольные стержни не могли бы увеличить прочность бетонной призмы из-за малого сопротивления этих стержней продольному изгибу. Таким образом, сечение и шаг расстановки хомутов так-